

Los fenómenos eléctricos que se pueden producir artificialmente son conocidos desde hace bastante tiempo. Antiguamente los griegos ya sabían que frotando el ámbar podían atraer materiales ligeros como el papel, e hilos. En aquella época éstos fenómenos solamente tenían explicación mágica ó divina. También a ésta época se remonta un concepto fundamental de éstos fenómenos, pues en griego, el ámbar se llama **elektron**. Más tarde se descubrió la electricidad por frotamiento en otros materiales. Sin embargo, su aplicación se limitó, en aquellos tiempos, a exhibiciones recreativas. Las investigaciones sobre los fundamentos de la electricidad, efectuadas durante el siglo XIX, tuvieron, entre otros resultados, la invención de la ampolla en 1854, que más tarde la industrializaría Thomas Alva Edison (1847-1931) en 1879, y que se comenzaría a fabricar en serie en 1882. Con esto se había dado un gran paso para que la electricidad fuera útil al hombre.

La obtención de electricidad mediante inducción electromagnética fue otro desarrollo importante en la utilización técnica de fenómenos eléctricos.

El primer generador fue inventado en el año 1866 por Werner Siemens. Esto permitió la obtención de la electricidad en forma fácil y económica.

## **CARACTERISTICAS ELECTROSTATICAS DE LOS CUERPOS**

Todos estamos familiarizados con los efectos de la electricidad estática, incluso algunas personas son más susceptibles que otras a su influencia. Ciertos usuarios de automóviles sienten sus efectos al cerrarlo con la llave (un objeto metálico puntiagudo) o al tocar la chapa del coche.

Algunos materiales al ponerse en contacto o frotarse enérgicamente manifiestan propiedades de atracción o repulsión respecto de otros materiales. Se dice entonces que el material está **cargado**. Se identifican dos tipos de cargas: positiva y negativa.

Por ejemplo cuando frotamos un bolígrafo con nuestra ropa y a continuación lo acercamos a pequeños trozos de papel, comprobamos que el bolígrafo los atrae. Algo similar ocurre cuando se frota vidrio con seda o ámbar con lana.

La cantidad y tipo de carga depende de la naturaleza de los materiales y del área de la superficie que entra en contacto.

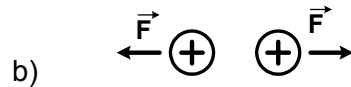
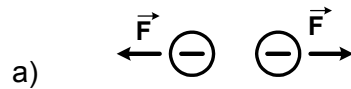
Otro de los factores que intervienen es el estado de las superficies, si son lisas o rugosas (entonces, la superficie de contacto es pequeña). La humedad o impurezas que contengan las superficies proporcionan un camino para que se recombinen las cargas. La presencia de impurezas en el aire tiene el mismo efecto que la humedad.

Para determinar el tipo de carga que adquieren los cuerpos, se deben observar los efectos que se producen entre materiales cargados, es decir observar si se atraen o se repelen. La atracción se presenta cuando las cargas de cada material son diferentes y la repulsión se presenta cuando las cargas son iguales. La interacción entre las cargas se expresa de la siguiente forma:

**Cargas iguales se repelen**

**Cargas opuestas se atraen**

Si se coloca una carga cerca de otra de igual signo, las cargas se repelerán, como se muestra en los siguientes ejemplos:

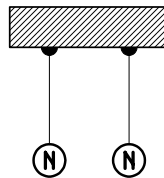


Si se coloca una carga cerca de otra de distinto signo, éstas se atraerán:



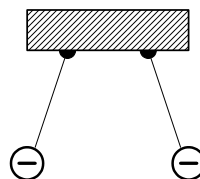
Un experimento clásico que se usa para comprobar la existencia de interacción entre las cargas, es disponer dos esferas de aislapól recubiertas con papel aluminio colgando, como péndulos, de un hilo aislante de nylon.

Si inicialmente las esferas están sin carga no se observará desplazamiento entre ellas:

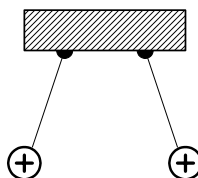


Las esferas se pueden cargar acercando un objeto cargado **triboelectricamente** (mediante el frotamiento).

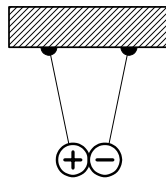
Si ambas esferas se cargan negativamente, se observará que éstas se separan demostrando la fuerza de repulsión:



Si ambas esferas se cargan positivamente, se observará que éstas se separan demostrando la fuerza de repulsión:

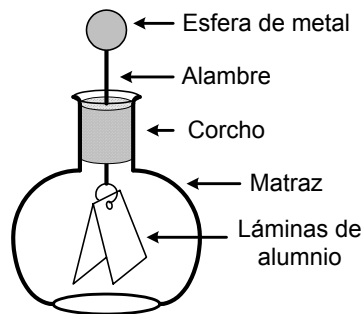


Si las esferas se cargan con cargas opuestas éstas se moverán hasta juntarse por al menos un momento:



### El electroscopio

El electroscopio es un instrumento que nos permite observar la presencia de las cargas. Se puede construir muy fácilmente usando alambre, corcho, láminas de aluminio y un matraz.



Cuando un cuerpo cargado toca la esfera de metal, transfiere las cargas, a través del alambre, hasta las láminas de aluminio. Como ambas láminas de aluminio reciben la misma cantidad y tipo de carga éstas tienden a separarse demostrando la presencia de carga eléctrica.

De estos experimentos se concluye que cuando un cuerpo se frota la carga se transfiere de un cuerpo al otro, uno de los cuerpos se carga positivamente y el otro se carga negativamente.

## ESTRUCTURA DE LA MATERIA

**Materia** es todo aquello que tiene masa y que ocupa un lugar en el espacio. Se compone de partículas muy pequeñas llamadas **átomos** y puede clasificarse en uno de estos dos grupos: **elementos y compuestos**. En un elemento todos los átomos son iguales. Aluminio, cobre, carbono, germanio y silicio son ejemplos de elementos. Compuesto es una combinación de elementos; por ejemplo, el agua es un compuesto que consta de hidrógeno y oxígeno. La partícula más pequeña que conserva las características originales de un compuesto se llama **molécula**.

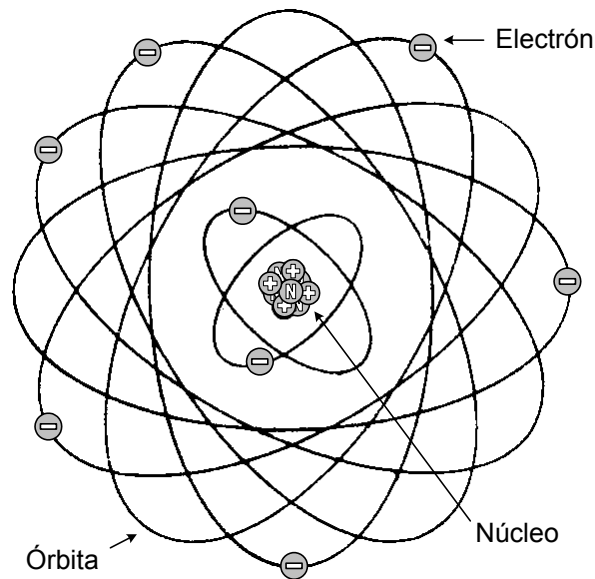
Los átomos están formados por partículas subatómicas: **electrones, protones y neutrones**, en proporciones diversas. El electrón es la carga eléctrica negativa fundamental y es igual a  $-1,6 \times 10^{-19}$  [ C ]. El protón tiene la carga positiva fundamental y es igual a  $+1,6 \times 10^{-19}$  [ C ]. El **Coulomb** [ C ] es la unidad en que se mide la carga eléctrica. Los neutrones no poseen carga eléctrica.

### MODELO ATOMICO DE BOHR

Las propiedades más importantes de la estructura atómica y molecular pueden ser ejemplificadas usando una figura simplificada de un átomo el cual se denomina modelo atómico de Bohr.

Éste modelo fue propuesto por Niels Bohr en 1915. El modelo de Bohr no es completamente correcto pero tiene muchas características que son aproximadamente correctas y son suficientes para los siguientes estudios de electricidad.

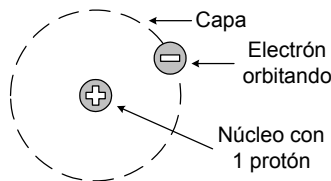
De acuerdo al modelo los electrones se desplazan alrededor del núcleo del átomo en trayectorias concéntricas llamadas órbitas. Cada órbita está asociada a un nivel de energía determinado. Los electrones de orbitas cercanas al núcleo tienen menos energía que los electrones de orbitas mas alejadas del núcleo. Los electrones pueden saltar de una a otra órbita entregando o absorbiendo energía.



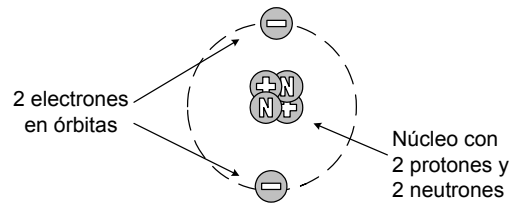
El núcleo contiene protones. El número de protones de un átomo recibe el nombre de número atómico, por ejemplo, el átomo de silicio tiene 14 protones en su núcleo y por lo tanto, su número atómico es 14. También el neutrón, que es la carga neutra fundamental, se encuentra en el núcleo.

Los átomos de elementos distintos difieren entre sí por el número de electrones y protones. En su estado natural un átomo, de cualquier elemento, contiene igual número de electrones y protones. Como la carga negativa (-) de cada electrón es igual en magnitud a la carga positiva (+) de cada protón, las dos cargas opuestas se cancelan. Un átomo en estas condiciones es **eléctricamente neutro** y se dice que está en equilibrio eléctrico.

El átomo más simple corresponde al de hidrógeno; contiene 1 protón en su núcleo y 1 electrón que orbita a su alrededor, como muestra la siguiente figura:



El átomo que ocupa el segundo lugar por su simplicidad es el de helio que contiene 2 protones en el núcleo y 2 electrones en órbita a su alrededor, como muestra la siguiente figura:



Un átomo estable (neutro) tiene cierta cantidad de energía que es igual a la suma de las energías de sus electrones. A su vez éstos tienen energías diferentes que se llaman **niveles de energía**.

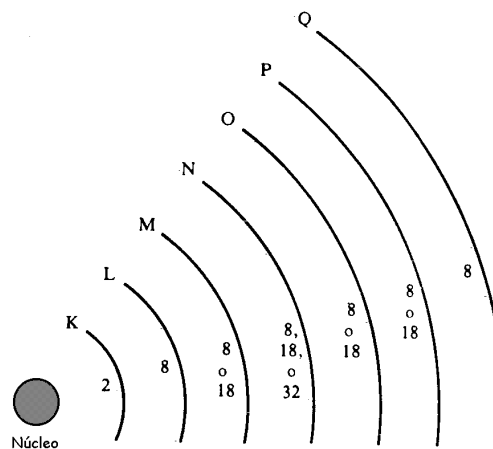
Los niveles de energía de los electrones en las capas más alejadas del núcleo son mayores que los que se encuentran en las capas más cercanas a él. Los electrones que se hallan en la capa más externa se denominan **electrones de valencia**. Si a un material se le aplica energía externa en forma de calor, luz o energía eléctrica sus electrones ganan energía; esto puede hacer que se muevan a un nivel superior de energía. Un átomo que ha ganado energía se dice que está en **estado de excitación**. Un átomo en estado excitado es inestable.

Cuando un electrón se ha movido hacia la capa exterior de su átomo, la atracción producida por los protones del núcleo será menor. Si se aplica entonces suficiente energía al átomo, algunos de sus electrones situados en la capa exterior (electrones de valencia) lo abandonarán. Esos electrones reciben el nombre de **electrones libres**, y su movimiento es el causante de la **corriente eléctrica** en un material.

Cada capa de un átomo sólo puede contener cierto número máximo de electrones, sin perder su estabilidad. Ese número recibe el nombre de **cuota** de una capa.

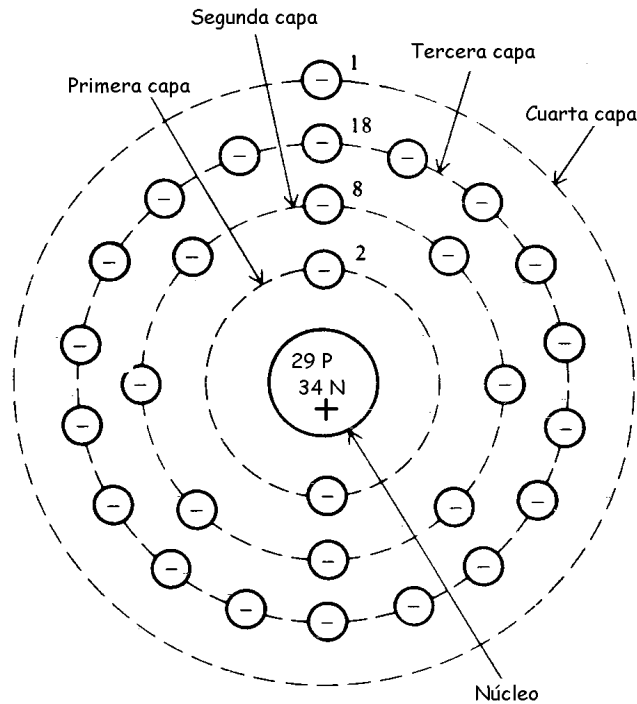
Los electrones que orbitan se encuentran en capas sucesivas denominadas K, L, M, N, O, P y Q en orden creciente de distancias respecto al núcleo. La cuota de cada capa está determinado por la estabilidad.

Las denominaciones de las capas y sus cuotas se muestran en la siguiente figura:



Después que la capa K se llena con 2 electrones, la capa L puede acomodar hasta 8 electrones. El número máximo de electrones en las capas restantes puede ser 8, 18 ó 32 en los diferentes elementos. Sin embargo, el máximo para la capa más externa siempre es 8.

Como ejemplo, en el átomo de cobre de la siguiente figura hay 29 protones en el núcleo, balanceados por 29 electrones en órbita. De éstos, la capa K se llena con 2 electrones y la L con 8. Los 19 electrones restantes llenan la capa M con 18 electrones y la capa externa N contiene 1 electrón:



Si un átomo pierde uno o más electrones de su capa exterior, los protones exceden a los electrones y el átomo adquiere carga eléctrica neta positiva. En esta condición, el átomo se llama **ión positivo** o **catión**.

Si un átomo adquiere electrones, su carga eléctrica neta se vuelve negativa, y se dice que el átomo es un **ión negativo** o **anión**.

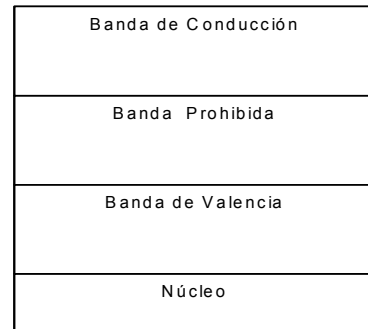
El proceso mediante el cual los átomos adquieren o pierden electrones recibe el nombre de **ionización**.

## NIVELES DE ENERGIA: CONDUCTORES Y AISLADORES

En ciertos sólidos los átomos que lo forman están dispuestos por arreglo de ciertas formas geométricas, manteniendo entre ellos una distancia perfectamente definida, formando una malla que se denomina cristal.

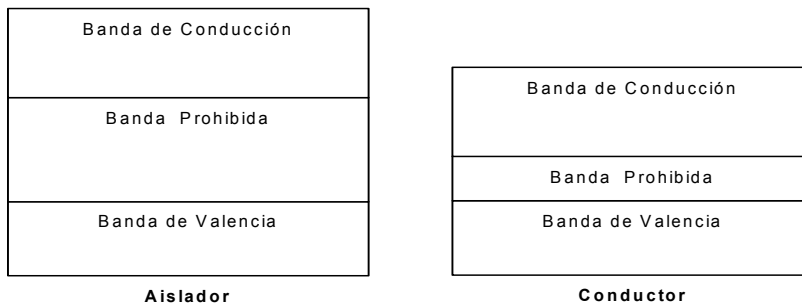
El diagrama de niveles de energía de un cristal, comprende una serie de bandas de energía en las cuales pueden existir los electrones separados entre sí, por una zona llamada banda prohibida, la cual, recibe este nombre debido a que los electrones no pueden tener los niveles de energía comprendidos dentro de los límites de esta banda.

Los electrones comprendidos en la banda de valencia, naturalmente pueden ser llevados a la banda de conducción si se les confiere suficiente energía. Estos son los llamados electrones libres.



Considerando la cantidad de energía que hay que proporcionarle a un electrón para que salga de la banda de valencia hacia la banda de conducción, los materiales se clasifican en **conductores y aisladores**.

En los aisladores, el intervalo entre la banda de valencia y conducción es grande, mientras que en los conductores las bandas de conducción y valencia están traslapadas.



La propiedad que poseen algunas sustancias de tener electrones libres (en la banda de conducción), capaces de desplazarse, se llama **conductividad**.

Estos materiales serán capaces, bajo la acción de fuerzas exteriores, de "conducir" la electricidad, ya que existen cargas eléctricas (los electrones) que pueden moverse en su interior.

### Conductores, aisladores y semiconductores

Basándose en el criterio de mayor o menor conductividad, se pueden clasificar los materiales en tres grupos:

**Conductores:** Son aquellos con gran número de electrones en la banda de conducción, es decir, con gran facilidad para conducir la electricidad (gran conductividad). Todos los metales son conductores, unos mejores que otros. Buenos conductores son: la plata, el cobre, el aluminio, el estaño. Malos conductores son: el hierro, el plomo.

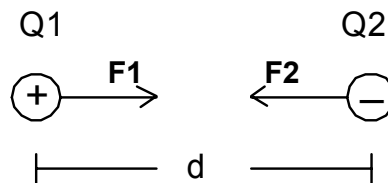
**Aislantes o dieléctricos:** Son aquellos cuyos electrones están fuertemente ligados al núcleo y por tanto, son incapaces de desplazarse por el interior y, consecuentemente, conducir. Buenos aislantes son por ejemplo: la mica, la porcelana, el poliéster, el aire.

**Semiconductores:** Algunas sustancias son poco conductoras, pero sus electrones pueden saltar fácilmente de la Banda de Valencia a la de Conducción, si se les comunica energía exterior: son los semiconductores, de gran importancia en la electrónica. Algunos ejemplos son: el Silicio, el Germanio y el Arseniuro de Galio.

### LEY DE COULOMB

Mediante una balanza de torsión, Coulomb encontró que la fuerza de atracción o repulsión entre dos cargas puntuales (cuerpos cargados cuyas dimensiones son despreciables comparadas con la distancia que las separa) es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

La Ley de Coulomb se puede expresar considerando el siguiente esquema:



Entre esas dos cargas por ser de signos opuestos aparecerán fuerzas de atracción. Las características de estas fuerzas son las siguientes:

- Las fuerzas aparecen sobre la línea que une ambas cargas.
- Las fuerzas tienen sentidos opuestos.
- Los módulos de las fuerzas **F1** y **F2** son iguales y vienen expresados por la siguiente ecuación:

$$F1 = F2 = k \cdot \frac{Q1 \cdot Q2}{d^2}$$

Donde en el sistema MKS:

F1 y F2 = Fuerza en newtons (N).

Q1 y Q2 = Carga en coulomb (C).

d = Distancia en metros (m).

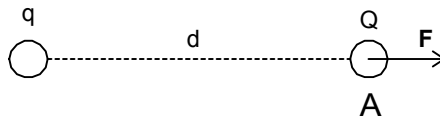
k = Constante de proporcionalidad.  $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$



## CAMPO ELECTROSTATICO

Las cargas eléctricas ejercen fuerzas sobre otras cargas. Esta característica se puede explicar diciendo que las cargas eléctricas producen un **campo eléctrico** en el espacio que las rodea. Este campo eléctrico es un campo de fuerzas, ya que cualquier carga colocada dentro del experimentará una fuerza y en consecuencia se moverá en una dirección determinada.

Los campos eléctricos pueden ser detectados mediante una carga de prueba colocada en la cercanía de otra carga.



En la figura se muestra una carga \$q\$ que produce un campo eléctrico en su entorno. En el punto A, colocado dentro del campo eléctrico y ubicado a una distancia \$d\$ de la carga \$q\$, se coloca una carga de prueba \$Q\$, la cual detecta el campo eléctrico pues experimenta una fuerza \$\mathbf{F}\$.

Se define **intensidad de campo eléctrico** \$\mathbf{E}\$, como la fuerza ejercida por unidad de carga :

$$E = \frac{F}{Q}$$

donde: \$E\$ = Intensidad de campo eléctrico. Se mide en Newton/ Coulomb [ N/C]

\$F\$ = Fuerza sobre la carga de prueba

\$Q\$ = Carga de prueba

El módulo de la fuerza que experimenta la carga de prueba \$Q\$ viene dado por la Ley de Coulomb:

$$F = K \frac{qQ}{d^2}$$

Reemplazando el valor de la fuerza \$F\$ en la expresión de intensidad de campo eléctrico se obtiene:

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{KqQ}{Qd^2} = K \frac{q}{d^2}$$

Es decir, se puede escribir otra expresión para la intensidad de campo eléctrico, pero esta vez considerando la carga que está produciendo el campo eléctrico:

$$E = K \frac{q}{d^2}$$

donde: \$E\$ = Campo eléctrico

\$K = 9 \times 10^9\$ [ Nm\$^2\$ / C\$^2\$ ]

\$q\$ = Carga que produce el campo eléctrico en un punto A

\$d\$ = Distancia desde la carga \$q\$ al punto A

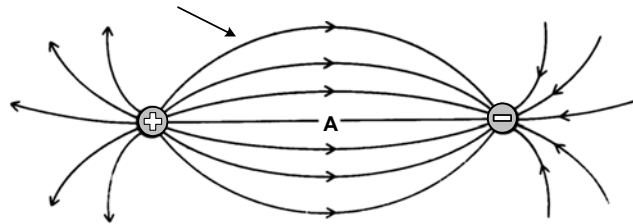
## LINEAS DE FUERZA DE CAMPO ELECTRICO

El campo eléctrico puede ser representado mediante líneas de fuerza que muestran la forma que tiene el campo e indican la dirección de este en un punto determinado. Las líneas de campo eléctrico también proporcionan información sobre la dirección en que se moverá una carga eléctrica dentro de ese campo.

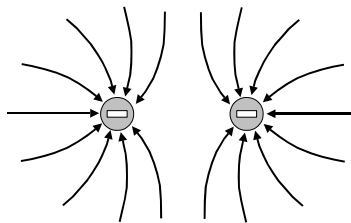
Una carga eléctrica positiva siempre se mueve en la misma dirección del campo eléctrico, en tanto que una carga negativa se mueve en sentido contrario al campo eléctrico.

Las líneas de campo eléctrico siempre se dirigen de una carga positiva a una carga negativa.

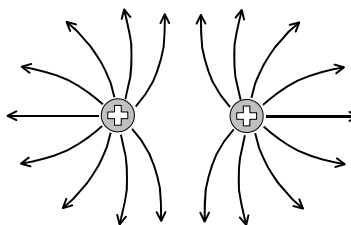
Líneas de fuerza  
del campo eléctrico



Al enfrentar dos cargas negativas, el campo electrostático adquiere una forma como muestra la siguiente figura:



Al enfrentar dos cargas positivas, el campo electrostático adquiere una forma como muestra la siguiente figura:



## POTENCIAL ELECTRICO Y DIFERENCIA DE POTENCIAL

Debido a la existencia del campo eléctrico, una carga eléctrica tiene la capacidad de efectuar un trabajo al mover a otra carga por atracción o por repulsión. Es decir en un punto ubicado en el entorno de una carga existe una condición energética que se manifiesta en la capacidad de desplazar otra carga (llamada carga de prueba) hasta ese punto. Se dice que se efectúa trabajo sobre la carga de prueba ya que sobre esta actúa una fuerza que la desplaza en una dirección determinada. A esta capacidad de

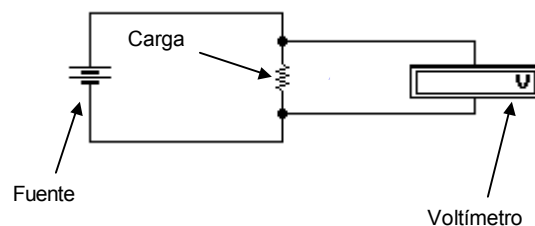
efectuar trabajo se llama **potencial eléctrico** y se asocia a un punto ubicado en un campo eléctrico. El potencial eléctrico de un punto A se simboliza como  $V_A$  y se mide en una unidad llamada **voltio** (v).

En la mayoría de las aplicaciones prácticas es más conveniente referirse a la **diferencia de potencial** entre dos puntos A y B como el trabajo necesario para desplazar una carga de prueba desde el punto A hasta el punto B. La diferencia de potencial entre dos puntos A y B se simboliza como  $V_{AB}$  y también se mide en voltios. Una carga se desplazará de un punto a otro solo si existe una diferencia de potencial entre esos dos puntos.

Se acostumbra a llamar a la diferencia de potencial entre dos puntos como el **voltaje** entre esos dos puntos o como la **caída de tensión** entre esos dos puntos. El término "caída" hace referencia al hecho de que una carga de prueba positiva se moverá desde un punto de alto potencial a otro de bajo potencial, es decir existe una caída de potencial entre los dos puntos en que se mueve la carga positiva. Se identifica el punto con mas alto potencial con el signo (+) y el punto con mas bajo potencial con el signo (-). Es importante recalcar el hecho de que si un punto A tiene un potencial positivo (+) significa que es mas positivo con respecto a otro punto B identificado con potencial negativo (-) y viceversa.

## MEDICION DE VOLTAJE

Para medir el voltaje o diferencia de potencial entre dos puntos, se utiliza un instrumento llamado **vóltmetro** o **voltímetro**. Para realizar la medición, el voltímetro se debe conectar en paralelo con la carga (aquí la palabra carga se utiliza para identificar un elemento que consume energía eléctrica como lo es el resistor) en donde se desea medir la diferencia de potencial o voltaje.



## CORRIENTE ELECTRICA

El movimiento o flujo orientado de electrones a través de un material se denomina **corriente eléctrica**. Para producirla, los electrones deben moverse entre dos puntos es decir debe existir una diferencia de potencial entre esos dos puntos.

La **intensidad de la corriente** se representa con el símbolo  $I$  y se define como la cantidad de electrones que pasan, por un punto de un conductor, en un tiempo determinado. La unidad para medirla es el **amperio (A)**. Un amperio de intensidad de corriente representa la cantidad de electrones equivalente a 1 coulomb de carga pasando por un punto en el tiempo de 1 segundo.

La definición de intensidad de corriente puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Donde:

$I$  = intensidad de corriente en amperios (A).

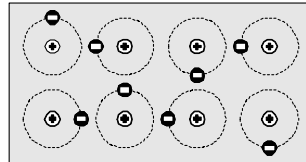
$Q$  = cantidad de cargas en coulomb (C).

$t$  = tiempo en segundos (s).

### Flujo de corriente

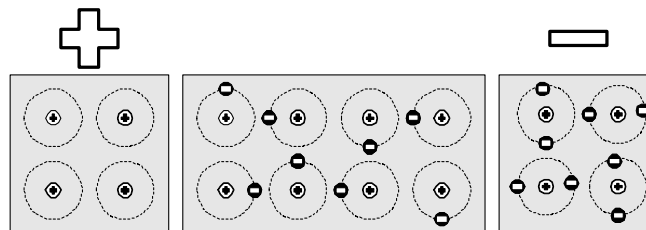
En un material conductor, como un alambre de cobre, los electrones libres son cargas que podemos poner en movimiento, con facilidad relativa, aplicando una diferencia de potencial.

En la siguiente figura, se representa un material conductor formado por átomos que poseen 1 electrón (círculo con signo -) en la banda de valencia.

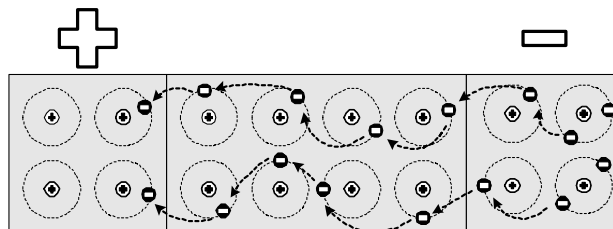


El núcleo del átomo es representado por los círculos con signo + y las líneas discontinuas representan las órbitas de los electrones. No se han representado el resto de los electrones del átomo. También debemos considerar que el material es eléctricamente neutro.

A continuación, se acercan a los extremos del material conductor dos cuerpos cargados. Uno positivo (a la izquierda) y uno negativo (a la derecha):



Si los cuerpos cargados están suficientemente cerca del material conductor, se podrán transferir electrones a través del material:



El flujo de electrones a través del material es lo que se denomina **corriente eléctrica**.

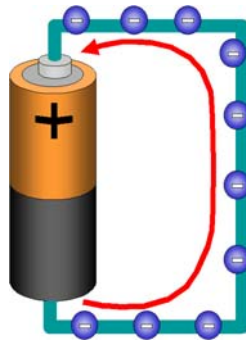
Ésta corriente permanecerá mientras exista una diferencia de potencial entre los extremos del material conductor, es decir, mientras un extremo sea más positivo o más negativo que el otro.

Una pila ofrece dos puntos cargados opuestamente, que se denominan **polo positivo** y **polo negativo** respectivamente.



Si unimos estos dos puntos con un material conductor, entonces a través de él se establecerá una corriente eléctrica.

En la siguiente figura, los electrones están representados con esferas y la flecha indica la dirección de los electrones en el conductor.



La dirección del flujo de los electrones es de un punto de potencial negativo hacia un punto de potencial positivo.

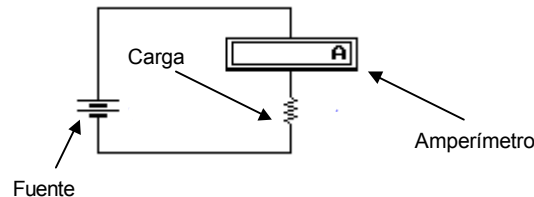
### **SENTIDO CONVENCIONAL DE LA CORRIENTE ELECTRICA**

Los primeros investigadores de la corriente eléctrica no sabían si la carga negativa atravesaba los materiales para neutralizarse con las cargas positivas, o si se movían las cargas positivas para neutralizarse con las negativas, o todavía si ambas cargas se movían para neutralizarse mutuamente. Sin embargo, reconocieron que el flujo tenía lugar en un solo sentido, y por convenio adoptaron arbitrariamente que el sentido de la corriente debía identificarse con el sentido de las cargas positivas. No estuvieron acertados en la elección, porque en todas las trayectorias conductoras, excepto los gases ionizados y los electrolitos, la corriente eléctrica es simplemente un flujo de electrones, esto es, carga eléctrica negativa. El convenio no ha sido modificado y, en consecuencia, cuando decimos que la corriente circula en un cierto sentido, sabemos que el flujo real de electrones se produce en sentido opuesto.

La dirección que adquieren las cargas negativas en el material conductor, que se muestra en la figura anterior, se denomina **sentido electrónico** o **sentido real**. Sin embargo, por razones históricas, normalmente, los análisis de circuitos se realizan considerando que son las cargas positivas que se mueven, por lo tanto, llevan el sentido opuesto. Ésta dirección se denomina **sentido convencional** de la corriente eléctrica. De todas formas, cualquier circuito puede analizarse por el flujo real de los electrones o por el flujo convencional, en la dirección opuesta.

## MEDICION DE CORRIENTE ELECTRICA

Para medir intensidad de corriente eléctrica se utiliza un instrumento llamado ampérmetro o amperímetro. Para realizar la medición, el amperímetro se debe conectar de forma tal de garantizar que la corriente eléctrica a medir pase por el instrumento. Este tipo de conexión se llama conexión serie y se indica en la siguiente figura:



## RESISTENCIA ELECTRICA

La resistencia es una característica de los materiales y se manifiesta en la oposición al flujo de corriente. Para aumentar la resistencia en un circuito, se usan componentes denominados resistores o resistencias. Un resistor es un objeto cuya resistencia al paso de la corriente tiene un valor específico conocido. La resistencia se mide en **Ohms ( $\Omega$ )** y en las ecuaciones se representa con el símbolo **R**. Un ohm se define como la cantidad de resistencia que limita la corriente en un conductor a un amper cuando el voltaje aplicado al conductor es de un volt.

### RESISTORES FIJOS

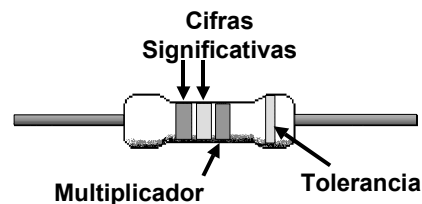
Un resistor fijo es el que tiene un valor de resistencia que permanece constante en condiciones normales. Los dos tipos principales de resistores fijos son los que tienen alguna composición de carbono y los de alambre tipo devanado.

Para identificar el valor de la resistencia de estos resistores se utiliza un código de colores.

### CODIGO DE COLORES

Los códigos de colores son ampliamente utilizados en electrónica para indicar el valor del parámetro principal de un componente.

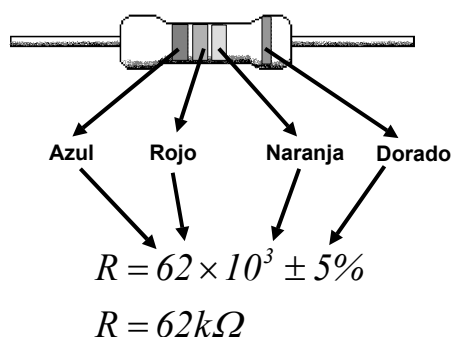
Si un resistor se observa como muestra la siguiente figura, entonces, de izquierda a derecha tendremos: las 2 primeras franjas, corresponden a cifras significativas, la tercera franja a un multiplicador y la cuarta franja a la tolerancia.



La siguiente tabla indica el valor de las cifras significativas, el multiplicador y la tolerancia según el color:

COLOR	1º FRANJA	2º FRANJA	3º FRANJA	TOLERANCIA
Ninguno	-	-	---	$\pm 20\%$
Plata	-	-	$10^{-2}$	$\pm 10\%$
Oro	-	-	$10^{-1}$	$\pm 5\%$
Negro	-	0	$10^0$	---
Café	1	1	$10^1$	$\pm 1\%$
Rojo	2	2	$10^2$	$\pm 2\%$
Naranja	3	3	$10^3$	---
Amarillo	4	4	$10^4$	---
Verde	5	5	$10^5$	$\pm 0,5\%$
Azul	6	6	$10^6$	---
Violeta	7	7	$10^7$	---
Gris	8	8	$10^8$	---
Blanco	9	9	$10^9$	---

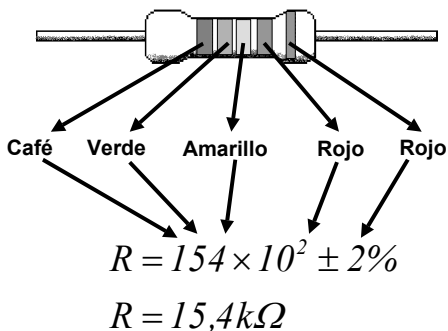
Suponiendo un resistor con los siguientes colores en sus franjas, el valor de la resistencia se determina:



La tolerancia representa el porcentaje de variación que puede tener el valor de la resistencia. En el ejemplo anterior el valor de la resistencia puede estar comprendido entre 58,9 K $\Omega$  y 65,1 K $\Omega$ .

### Código numérico en resistores de precisión

Los resistores de precisión cuentan con una franja más que los resistores comerciales. Ésta corresponde a una tercera cifra significativa. Para determinar la resistencia se utiliza el mismo método que con los resistores comerciales, considerando una cifra significativa extra:



## RESISTENCIAS NO LINEALES

### Termistores

Los termistores son resistores cuya resistencia varía en función de la temperatura a la cual son sometidos.



Existen dos tipos: **NTC** (**N**egative **T**emperature **C**oefficient), en los cuales la resistencia baja con el aumento de la temperatura; y los **PTC**, en los cuales la resistencia aumenta con el aumento de la temperatura.

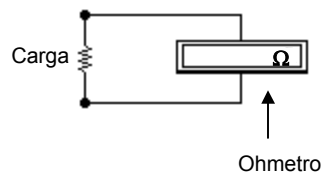
### Fotoresistores

Los fotoresistores o también llamados LDR (**L**igh **D**ependent **R**esistor), son resistores cuya resistencia eléctrica disminuye conforme aumenta la luz a la que es sometida.



## MEDICION DE RESISTENCIA

Para medir la resistencia eléctrica de un resistor, se utiliza un instrumento llamado ohmetro. Para realizar la medición de resistencia, el ohmetro se debe instalar en una conexión en paralelo al resistor a medir (el resistor no debe estar conectado a un circuito).

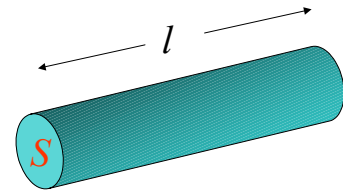




## RESISTENCIA DE CONDUCTORES

La resistencia de los conductores depende del largo, de la sección y del tipo de material del cual esta constituido. La resistencia (R) viene expresada por la siguiente relación:

$$R = \frac{\rho x L}{S}$$



Donde :

$\rho$  : Resistividad del material

L : Largo del conductor en metros (m)

S : Sección del conductor en milímetros cuadrados (mm<sup>2</sup>)

La resistividad del material ( $\rho$ ), se define como el grado de oposición que presenta un determinado material conductor, al paso de la corriente eléctrica por unidad de longitud y sección.

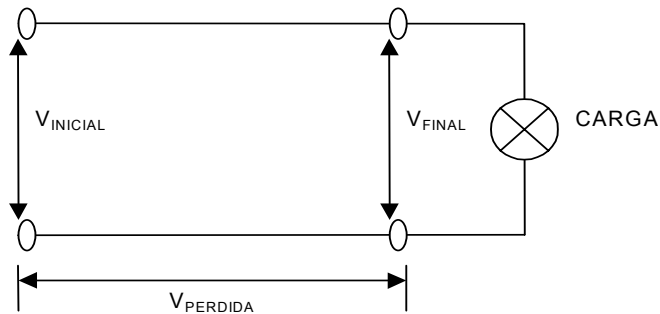
En la electrotecnia suele emplearse también el inverso de la resistividad, la cual se denomina conductividad.

RESISTIVIDAD Y CONDUCTIVIDAD DE MATERIALES A 20°C		
Material	Resistividad $\frac{\Omega \times mm^2}{m}$	Conductividad $\frac{m}{\Omega \times mm^2}$
Plata	0,016	62,000
Cobre	0,018	56,000
Oro	0,022	44,000
Aluminio	0,028	36,000
Zinc	0,060	16,700
Latón	0,070	14,300
Hierro	0,100	10,000
Platino	0,106	9,400
Estaño	0,110	9,100
Plomo	0,208	4,800

## CAIDA DE TENSION EN CONDUCTORES

Debido a que los conductores presentan una determinada resistencia al paso de la corriente eléctrica, existirá entonces una caída de tensión o diferencia de potencial en estos.

Lo anterior toma importancia en el caso de las instalaciones eléctricas, debido a que según la normativa eléctrica Chilena (NCH 4/84), la caída de tensión en un conductor no debe ser mayor a un 3 %, ni mayor a un 5% del voltaje nominal en el punto más desfavorable de la instalación.



Al analizar la situación anterior, podemos por simple inspección darnos cuenta, que la tensión que llega a la carga o voltaje final, esta definida por la diferencia de tensiones que existe entre la fuente (voltaje inicial), y la caída de tensión existente en el conductor o voltaje de pérdida.

$$V_C = V_I - V_P$$

Donde :

- $V_F$  : Voltaje final.
- $V_I$  : Voltaje inicial.
- $V_P$  : Voltaje de pérdida.

Para determinar la caída de tensión o voltaje de pérdida en conductores, se recurre a la siguiente expresión:

$$V_P = I \times \frac{\rho \times L}{S}$$

Donde :

- $I$  : Corriente que circula por el conductor en amperes (A)
- $\rho$  : Resistividad del material
- $L$  : Largo del conductor en metros (m)
- $S$  : Sección del conductor en milímetros cuadrados (mm<sup>2</sup>)

Bibliografía:

Apunte Inacap  
Principios y Fundamentos de Electricidad